

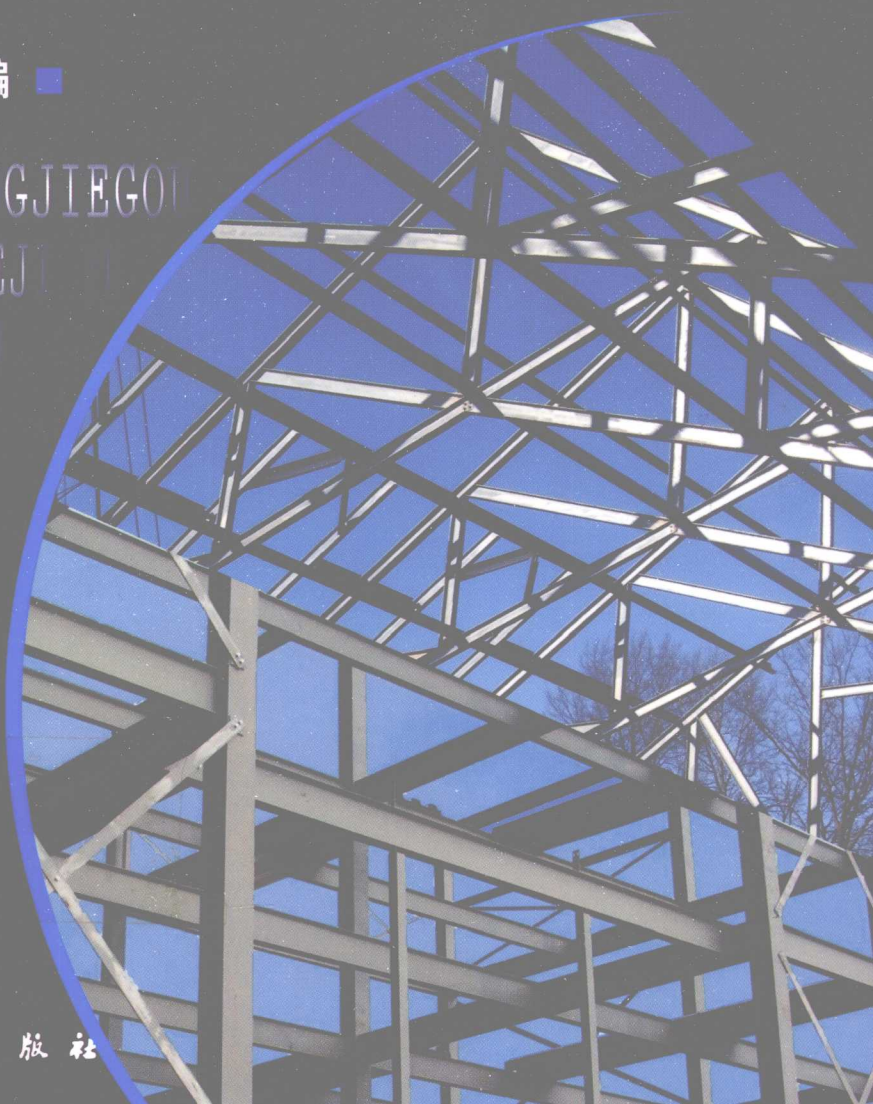


钢结构工程设计与施工系列

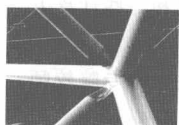
实用钢结构工程 设计与计算

■ 上官子昌 主编 ■

SHIYONG GANGJIEGOU
GONGCHENG SHEJI
YU JISUAN



化学工业出版社



钢结构工程设计与施工系列

实用钢结构工程 设计与计算

■ 上官子昌 主编 ■



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要依据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003),从钢结构的特点和设计方法入手,对钢结构设计与计算基本规定,构件的连接计算,轴心受力构件计算,受弯构件计算,拉弯、压弯构件的计算,轻型钢结构设计计算,钢与混凝土组合梁,钢结构防锈以及防火设计的结构形式和计算方法进行了详细阐述。附录部分给出了常用的设计数据表和一些计算方法,便于学习和设计时查用。

本书内容丰富,操作性、实用性强,可供工程设计人员、施工人员和相关大中专院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用钢结构工程设计与计算/上官子昌主编. —北京:
化学工业出版社, 2010. 1
(钢结构工程设计与施工系列)
ISBN 978-7-122-06973-3

I. 实… II. 上… III. ①钢结构-结构设计②钢结构-结构计算 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 196262 号

责任编辑: 袁海燕
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 颜克俭
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
720mm×1000mm 1/16 印张 16 字数 330 千字 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

《实用钢结构工程设计与计算》

编写人员

主 编 上官子昌

编写人员 (按姓名笔画排序)

上官子昌	白雅君	冯义显	巩晓东
吕克顺	江力武	李冬云	张 敏
张 琦	张文权	张晓霞	经东风
高少霞			

前言

钢结构设计技术作为钢结构建设的重要环节,其发展日新月异,从国家标准《钢结构设计规范》的历次更新,可以清楚地看到设计技术的发展历程及钢结构的发展方向。随着我国钢材产量和质量提高,以及钢结构本身具有的重量轻、延性好、抗震能力强、抗冲击性好、施工速度快等优点,钢结构在建筑工程领域,尤其是在高层及超高层建筑、大跨度空间结构、轻钢建筑等方面得到了广泛应用,因此,钢结构的设计显得尤为重要。

全书共分为8章,具体内容为:第1章钢结构设计与计算基本规定;第2章构件的连接计算;第3章轴心受力构件计算;第4章受弯构件计算;第5章拉弯、压弯构件计算;第6章轻型钢结构设计计算;第7章钢与混凝土组合梁;第8章钢结构防锈以及防火设计。

本书以《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)等规范及技术标准为依据,介绍了钢结构的各种基本构件、节点连接以及常用钢桁架、框架、门式刚架、吊车梁、柱及支撑体系的设计理论和原理,以实例形式阐述了各种钢结构构件和结构的实用计算方法。本书内容简明扼要、深入浅出、概念明晰、系统全面、实用性强,可供钢结构设计、制作和研究等方面工程技术人员使用,也可作为大专院校土木类专业师生的学习参考书。

本书的编写参阅和借鉴了许多优秀教材、专著和有关文献资料,一并列在参考文献中,在此对相关作者表示感谢。限于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者和同行给予批评指正。

编者

2009年12月

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. 钢结构设计规范(GB 50017—2003). 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [2] 中华人民共和国建设部. 钢结构工程施工质量验收规范(GB 50205—2001). 北京: 中国计划出版社, 2002.
- [3] 中华人民共和国建设部. 建筑钢结构焊接技术规程(JGJ 81—2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] 中华人民共和国建设部. 建筑结构荷载规范(GB 50009—2001). 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [5] 中华人民共和国建设部. 建筑结构可靠度设计统一标准(GB 50068—2001). 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [6] 中华人民共和国建设部. 建筑抗震设计规范(GB 50011—2001). 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [7] 中华人民共和国建设部. 冷弯薄壁型钢结构技术规范(GB 50018—2002). 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [8] 中华人民共和国建设部. 混凝土结构设计规范(GB 50010—2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [9] 中华人民共和国建设部. 建筑设计防火规范(GB 50016—2006). 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [10] 中国石油和化学工业协会. 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级(GB 8923—1988). 北京: 中国标准出版社, 1989.
- [11] 中国工程建设标准化协会. 钢结构防火涂料应用技术规范(CECS 24—1990). 北京: 中国计划出版社, 1990.
- [12] 陈骥. 钢结构稳定理论与设计. 北京: 科学出版社, 2008.
- [13] 张耀春. 钢结构设计原理. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [14] 童根树. 钢结构设计方法. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [15] 薛建阳. 钢与混凝土组合结构. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
- [16] 陈绍蕃, 顾强. 钢结构基础. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [17] 聂建国, 刘明, 叶列平. 钢混凝土组合结构. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

目 录

1 钢结构设计与计算基本规定	1
1.1 钢结构的特点、类型和应用	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的类型	2
1.1.3 钢结构的应用	6
1.2 极限状态下钢结构设计	7
1.2.1 结构功能极限状态	7
1.2.2 结构功能函数	7
1.2.3 结构可靠度	8
1.2.4 分项系数设计	9
1.3 钢结构抗震验算	11
1.3.1 构件的抗震验算	11
1.3.2 节点的抗震验算	12
1.4 钢结构的材料选用	14
1.4.1 钢的分类	14
1.4.2 钢材的主要性能	15
1.4.3 钢材的疲劳	19
1.4.4 钢材的选用	23
1.5 钢结构的设计指标	24
1.5.1 钢材的强度标准值	24
1.5.2 钢材的强度设计值	25
2 构件的连接计算	27
2.1 钢结构的连接方法	27
2.1.1 焊接连接	27
2.1.2 铆钉连接	28
2.1.3 螺栓连接	28
2.2 焊缝连接	29
2.2.1 焊缝的代号表示	29
2.2.2 焊缝的缺陷和级别	33

2.2.3	焊缝的强度	34
2.3	对接焊缝的构造和计算	36
2.3.1	对接焊缝的构造	36
2.3.2	对接焊缝的计算	37
2.4	角焊缝的构造和计算	39
2.4.1	角焊缝的构造要求	39
2.4.2	角焊缝计算的基本公式	42
2.4.3	角焊缝的计算	44
2.5	普通螺栓的构造和计算	53
2.5.1	普通螺栓的构造要求	53
2.5.2	受剪螺栓连接计算	56
2.5.3	受拉螺栓连接计算	63
2.5.4	同时受拉剪螺栓连接计算	67
2.6	高强度螺栓的构造和计算	69
2.6.1	高强度螺栓的性能和构造	69
2.6.2	高强度螺栓连接计算	72
3	轴心受力构件计算	77
3.1	构件的计算长度和长细比	77
3.2	填板连接计算	79
3.3	轴心受拉构件计算	81
3.4	实腹式轴心受压构件计算	82
3.4.1	轴心受压构件的整体稳定	82
3.4.2	轴心受压构件的局部稳定	89
3.4.3	实腹式轴心受压构件设计	91
3.5	格构式轴心受压构件计算	96
3.5.1	构件截面形式	96
3.5.2	构件绕虚轴的换算长细比	97
3.5.3	缀材设计	100
3.5.4	格构式轴心受压构件的设计步骤	104
3.6	柱头和柱脚的构造设计	108
3.6.1	柱头的构造和计算	108
3.6.2	柱脚的构造和计算	110
4	受弯构件计算	116
4.1	梁的截面形式和设计要求	116
4.1.1	截面形式	116
4.1.2	设计要求	117

4.2	强度计算	118
4.2.1	梁的抗弯强度	118
4.2.2	梁的抗剪强度	121
4.2.3	梁的局部承压强度	121
4.2.4	折算应力计算	122
4.3	整体稳定计算	124
4.3.1	影响整体稳定的因素	124
4.3.2	梁的临界弯矩与临界应力	125
4.3.3	梁的整体稳定计算	126
4.3.4	保证梁整体稳定的措施	128
4.4	局部稳定计算	129
4.5	挠度验算	136
5	拉弯、压弯构件计算	138
5.1	强度计算	138
5.2	框架柱的计算长度	141
5.3	实腹式压弯构件的整体稳定	143
5.3.1	弯矩作用平面内的稳定	143
5.3.2	弯矩作用平面外的稳定	145
5.3.3	双向弯曲实腹式压弯构件的整体稳定	147
5.4	实腹式压弯构件的局部稳定	148
5.5	格构式压弯构件计算	152
5.6	框架中梁与柱的设计	155
5.6.1	梁与柱的连接	155
5.6.2	柱脚	156
6	轻型钢结构设计计算	158
6.1	压型钢板设计计算	158
6.1.1	压型钢板设计材料的要求	158
6.1.2	压型钢板计算	159
6.2	檩条设计计算	162
6.2.1	檩条的结构形式	162
6.2.2	檩条的构造与受力性能	163
6.2.3	简支实腹式檩条计算	165
6.2.4	实腹式连续檩条计算	168
6.2.5	空腹式檩条计算	171
6.2.6	多跨静定檩条计算	173
6.2.7	桁架式檩条计算	174

6.2.8	三角形钢屋架节点计算	178
6.2.9	三铰拱屋架节点构造及焊缝计算	182
6.2.10	T型钢屋架的连接构造与节点计算	186
6.2.11	三角形薄壁型钢屋架节点计算	194
6.2.12	天窗架的荷载及内力计算	199
6.2.13	刚架构件内力及长度计算	202
6.2.14	变截面刚架构件计算	206
6.2.15	等截面刚架构件计算	213
7	钢与混凝土组合梁	216
7.1	组合梁的构造要求	216
7.2	混凝土翼板有效宽度计算	218
7.2.1	翼板的形式	218
7.2.2	翼板的有效宽度计算	219
7.3	组合梁设计计算	220
7.3.1	完全抗剪连接组合梁抗弯强度	220
7.3.2	部分抗剪连接组合梁抗弯强度	222
7.4	抗剪连接件计算	223
7.5	组合梁的挠度计算	227
8	钢结构防锈以及抗火设计	229
8.1	钢结构防锈	229
8.1.1	设计时应考虑的因素	229
8.1.2	常用的除锈底漆	230
8.1.3	钢结构的除锈等级	232
8.1.4	钢结构的除锈方法	234
8.2	钢结构抗火	235
8.2.1	钢结构的耐火极限	235
8.2.2	钢结构防火涂料	236
8.2.3	钢结构的防火措施	238
附录		239
附录 1	柱的计算长度系数	239
附录 2	轴心受压构件的稳定系数	240
附录 3	螺栓规格、型钢上螺栓（或铆钉）线距表	243
附录 4	工字形截面简支梁等效弯矩系数和轧制工字钢梁的稳定系数	246
参考文献		248

1

钢结构设计与计算基本规定



1.1 钢结构的特点、类型和应用

不同的工程结构,为了更好地发挥钢材的性能、有效地承受外力,所采用的结构形式也不相同,所以钢结构的结构形式较多。如用于单层工业厂房的结构形式是由一系列平面承重结构用支撑构件连接成空间结构;大跨结构众多,常用的有平板网架、网壳、悬索结构、索膜结构等;多高层结构为适用不同高度,常用的有钢架结构,钢架和抗剪桁架、剪力墙组成的结构,框筒、筒中筒、束筒等筒体结构等。桥梁和塔桅结构形式众多。

钢结构作为重要的以杆件体系组成的三维空间结构,主要由3种基本受力构件组成:第一种是轴心受力构件;第二种是受弯构件;第三种是拉弯、压弯构件。

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是由钢材建造而成,从钢结构的使用和材料特性上可归纳出钢结构的特点如下所述。

(1) 强度高,相对重量轻 设结构材料的质量密度为 ρ ,材料强度为 f 。以建筑钢、木材和钢筋混凝土为例,分别计算它们的密度与强度的比值 $\alpha=\rho/f$ 。

建筑钢(C. S.), $\alpha=(1.7\sim3.7)\times10^{-4}\text{m}^{-1}$;

木材(timber), $\alpha=5.4\times10^{-4}\text{m}^{-1}$;

钢筋混凝土(R. C.), $\alpha=18\times10^{-4}\text{m}^{-1}$ 。

由3种材料的 α 值大小的比较可以看出,钢材的 α 值最小。这说明,作为承力材料,钢材的强度最高,质量最轻。因此在工程结构中使用钢材可节省材料。

若采用钢筋混凝土、普通型钢和冷弯薄壁型钢这3种材料来设计一个跨度相同、承载相同的平面屋架,则钢筋混凝土屋架最重,普通型钢屋架较轻,约为钢筋混凝土屋架重量的 $1/4\sim1/3$,而冷弯薄壁型钢屋架最轻,仅为钢筋混凝土屋架重量的 $1/10$ 。通过屋架设计这个例子也可以看出,同样采用钢材,如钢材的形式不同(普通型钢和冷弯薄壁型钢),所设计出的结构重量也会有很大差别。

钢结构的质量轻,基础荷载小,可降低基础工程造价,也使吊装和运输的工作

量降低。

由于钢材的强度高,使得钢结构适用于大跨、高耸结构以及承载很大的重型结构,其材料强度常常不能得到充分发挥。这是因为在构件设计时,按照强度条件计算所需的截面较小,而按照稳定条件或刚度条件计算则所需的构件截面较大。

(2) 塑性、韧性好 塑性好:钢结构在通常条件下不会因超载而突然断裂,破坏前较明显的变形易被发现。钢材良好的塑性可降低局部高峰应力,使应力分布变化趋缓。韧性好:钢结构适宜在动力荷载下工作,因此在地震区采用钢结构较为有利。

(3) 材质均匀,比较符合力学计算假定 钢材由于冶炼和轧制过程的科学控制,其内部结构组织比较均匀,接近于各向同性,符合理想的弹性-塑性体。因此,计算上不定性较小,计算结果比较可靠。

(4) 制作简单、精准度较高、施工速度快 钢结构制作一般是在金属结构加工厂采用机械化施工完成,准确度和精密度均较高。制作中常可利用各种型钢,使施工速度加快。钢构件质量轻,连接简单方便,也使施工周期缩短。钢结构制作的部分工作量或全部工作量(如轻型钢结构制作)可在现场完成,施工比较灵活方便。钢结构易于连接,所以易于加固、改建和拆迁。

(5) 密闭性较好 钢材及其连接(特别是焊接)的水密性和气密性均较好,适于制作诸如高压容器、油罐、气柜、管道等要求密闭性的板壳结构。

(6) 钢材容易锈蚀 由于钢材容易锈蚀,对钢结构必须采用防锈蚀措施,特别是对于薄壁构件。钢结构常采用涂油漆防锈处理,在涂油漆前应彻底除锈,油漆质量和涂层厚度均应符合设计要求。在设计中,应考虑避免结构受潮、漏雨,尽量避免构造上出现难于检修的死角(dead space)。在有较强腐蚀性介质的环境中不宜采用钢结构。

(7) 钢材耐热但不耐火 温度在 200°C 以内时,钢材的主要性能(屈服点和弹性模量)下降不多。当温度超过 200°C 后,材质变化较大,此时强度开始逐步降低,还伴随有蓝脆和徐变现象。温度达 600°C 时,钢材强度几乎为零。设计规定:钢材表面温度超过 150°C 时需要采取隔热防护,对有防火要求的,必须按照相关规定采取隔热保护措施。

(8) 在低温或其他条件下易发生脆性断裂 钢结构在低温或其他条件下,容易发生脆性断裂,设计时也应特别注意这一点。

1.1.2 钢结构的类型

在一般性构筑物中通常采用钢结构,但由于构筑物使用功能的差别而形成了各种钢结构类型。

(1) 单层钢结构厂房 [图 1-1(a)] 如冶金厂房的平炉及转炉车间、混铁炉车间、轧车间;重型机械厂的铸钢车间、水压车间、锻压车间等。

(2) 轻型钢结构 [图 1-1(b)、(c)] 如轻型门式刚架、冷弯薄壁型钢结构、轻型钢管结等。主要用于仓库、办公室、轻型工业厂房、体育设施、低层住宅楼及别墅等。

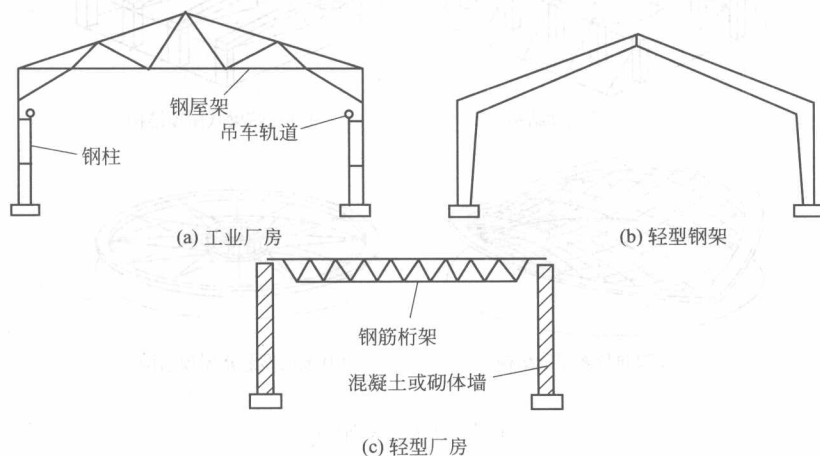


图 1-1 房屋钢结构

(3) 大跨空间钢结构 (图 1-2~图 1-4) 常用于飞机装配车间、飞机库、大型储煤库、体育场馆、展览馆等, 其结构体系常为平面网架、圆柱面网壳、球面网壳、悬索结构、斜拉索结构、预应力结构等。

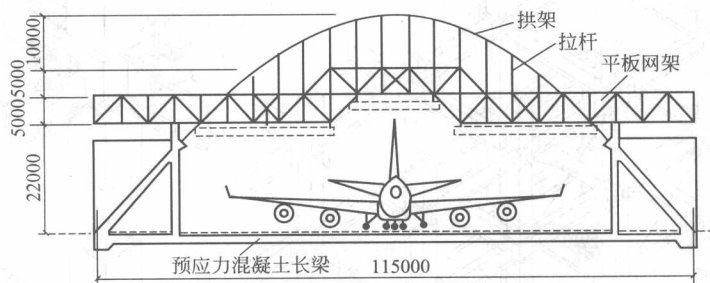


图 1-2 飞机库 (拱架支撑架结构网)

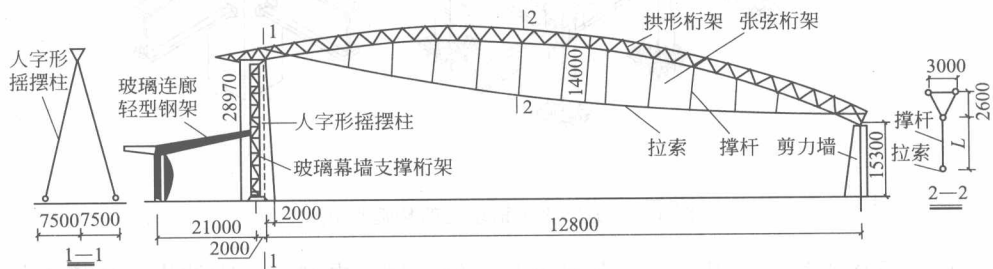


图 1-3 会展场馆 (张弦桁架结构)

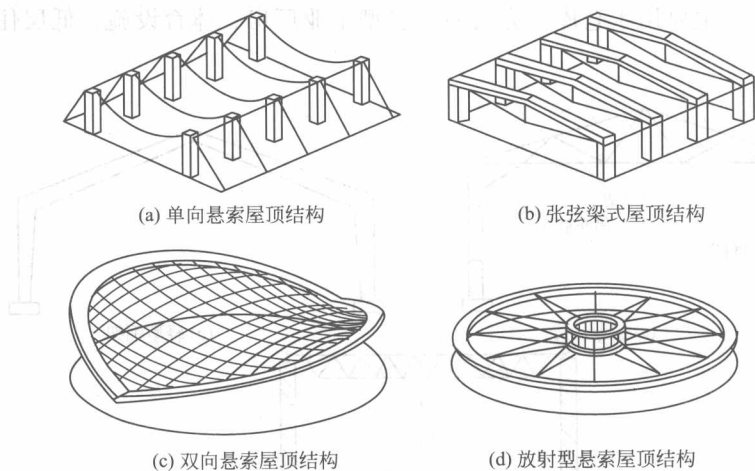


图 1-4 悬索结构形式

(4) 多层、高层以及超高层建筑钢结构 (图 1-5、图 1-6)

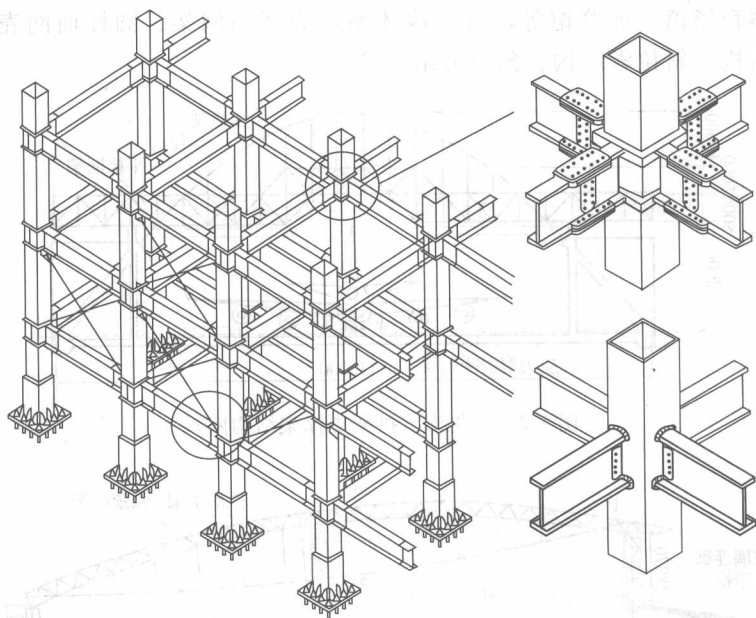


图 1-5 多层建筑钢结构的构造形式

(5) 高耸钢结构 (图 1-7) 如钻井塔、输电塔、电视塔、微波塔、环境大气监测塔, 还有带拉线的无线电天线桅杆、广播发射桅杆等。

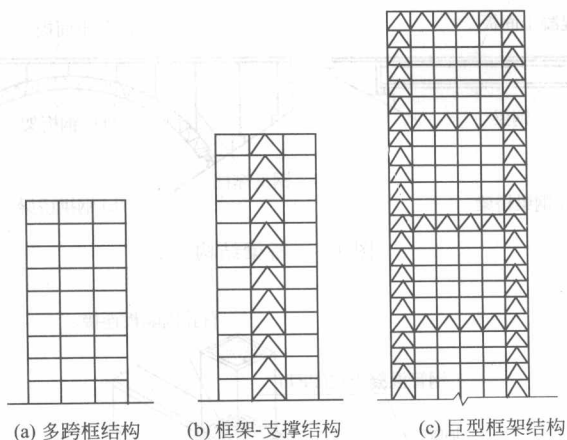


图 1-6 高层、超高层建筑钢结构体系

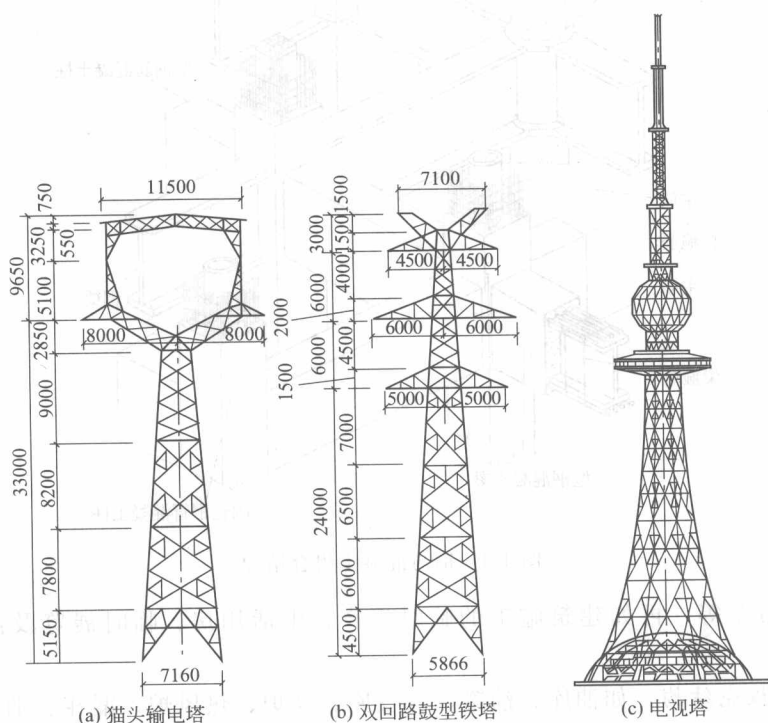


图 1-7 高耸钢结构

(6) 桥梁钢结构 (图 1-8)

(7) 钢与混凝土组合结构 (图 1-9) 如钢管混凝土结构、型钢混凝土结构等。

(8) 海上采油平台、井架、栈桥和管道支架等

(9) 可拆卸或拆迁的结构 如塔式起重机、履带式起重机的吊臂、龙门起重

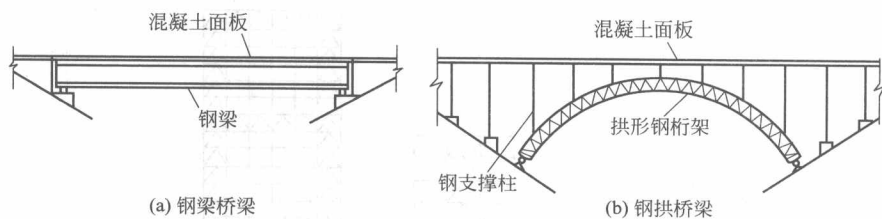


图 1-8 桥梁结构

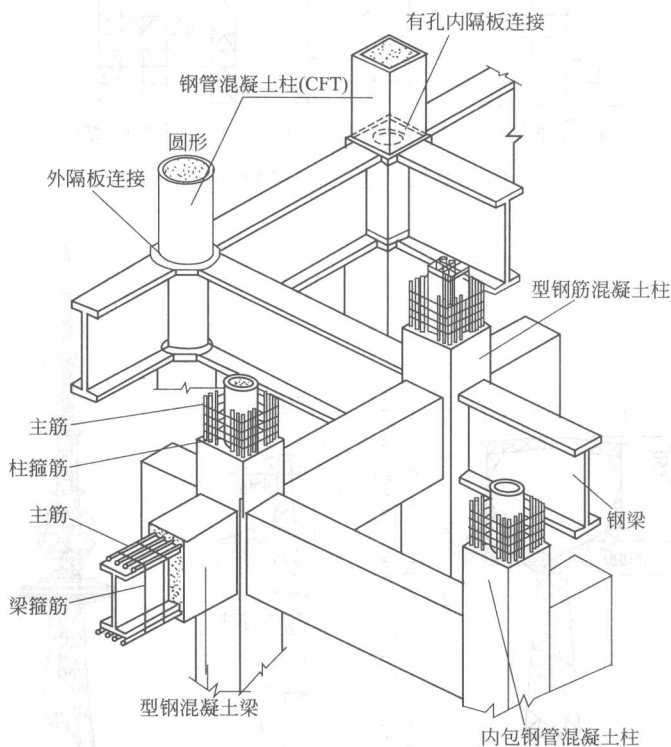


图 1-9 钢与混凝土组合结构

机、桥式吊车等；再如建筑施工的临时生产、生活用房、临时展览及演出的场馆等。

(10) 板壳结构 如油库、油罐、煤气库、高炉、热风炉、漏斗、烟囱、水塔以及各种管道等。

1.1.3 钢结构的应用

目前，钢结构常用于大跨、超高、过重、振动、密闭、高耸、空间和轻型的工程结构中，其应用范围大致如下所述。

(1) 重型厂房结构 设有起重量较大的中级和重级工作制桥式起重机的车间，

如炼钢车间、轧钢车间、铸钢车间、水压车间、船体车间、热加工车间等重型车间的承重骨架和桥式起重机梁。

(2) 大跨度结构 要求大空间的公共建筑和工业建筑,多需采用重量轻、强度高的大跨度钢结构,如飞机制造厂的装配车间、飞机库、体育馆、大会堂、剧场、展览馆等,多采用钢网架、拱架、悬索以及框架等结构体系。

(3) 高层和超高层建筑 多采用钢框架结构体系,以加快建设速度,提高抗震性能。

(4) 高耸构筑物 主要是承受风荷载的高耸塔桅结构,如高压输电线塔架、石油化工排气塔架、电视塔、环境气象监测塔、无线电桅杆等多采用塔桅钢结构。

(5) 容器、储罐、管道 大型油库、气罐、囤仓、料斗和大直径煤气管、输油管等多采用板壳钢结构,以保证在压力作用下耐久与不渗漏。

(6) 可拆装和搬迁的结构 如流动式展览馆、装配式活动房屋等多用螺栓和扣件连接的轻钢结构。

(7) 其他构筑物 如高炉、热风炉、锅炉骨架、大跨度铁路和公路桥梁、水工闸门、起重桅杆、运输通廊、管道支架和海洋采油平台等,一般多采用钢结构。

1.2 极限状态下钢结构设计

1.2.1 结构功能极限状态

为了保证结构的安全性和正常使用,设计规范规定结构或构件在不同情况下(如施工阶段、使用阶段等工况)要有效完成特定功能,并规定一个特定临界状态指标,当结构或构件超过这个特定临界状态指标时,即认为结构功能失效。由此所确定的结构功能临界状态就称为结构或构件的功能极限状态。设计规范规定了结构或构件的多种特定功能,所以结构功能极限状态可分为两大类。

第一类为承载能力极限状态,主要是指结构或构件达到最大承载能力或出现不适于继续加载的变形。承载能力极限状态破坏包括:倾覆、强度破坏、疲劳破坏、丧失稳定、结构变为机动体系或出现过度的塑性变形。

第二类为正常使用极限状态,主要是指结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。正常使用极限状态破坏包括:出现影响正常使用或影响外观的变形,出现影响正常使用或耐久性能的局部损坏以及出现影响正常使用的振动。

1.2.2 结构功能函数

设决定结构可靠性(或安全性)的参数有 n 个: $x_1, x_2, \dots, x_n$ 。构件为满足某一功能规定要求(如应力不超过材料强度或变形不超过规定限值等),按照设